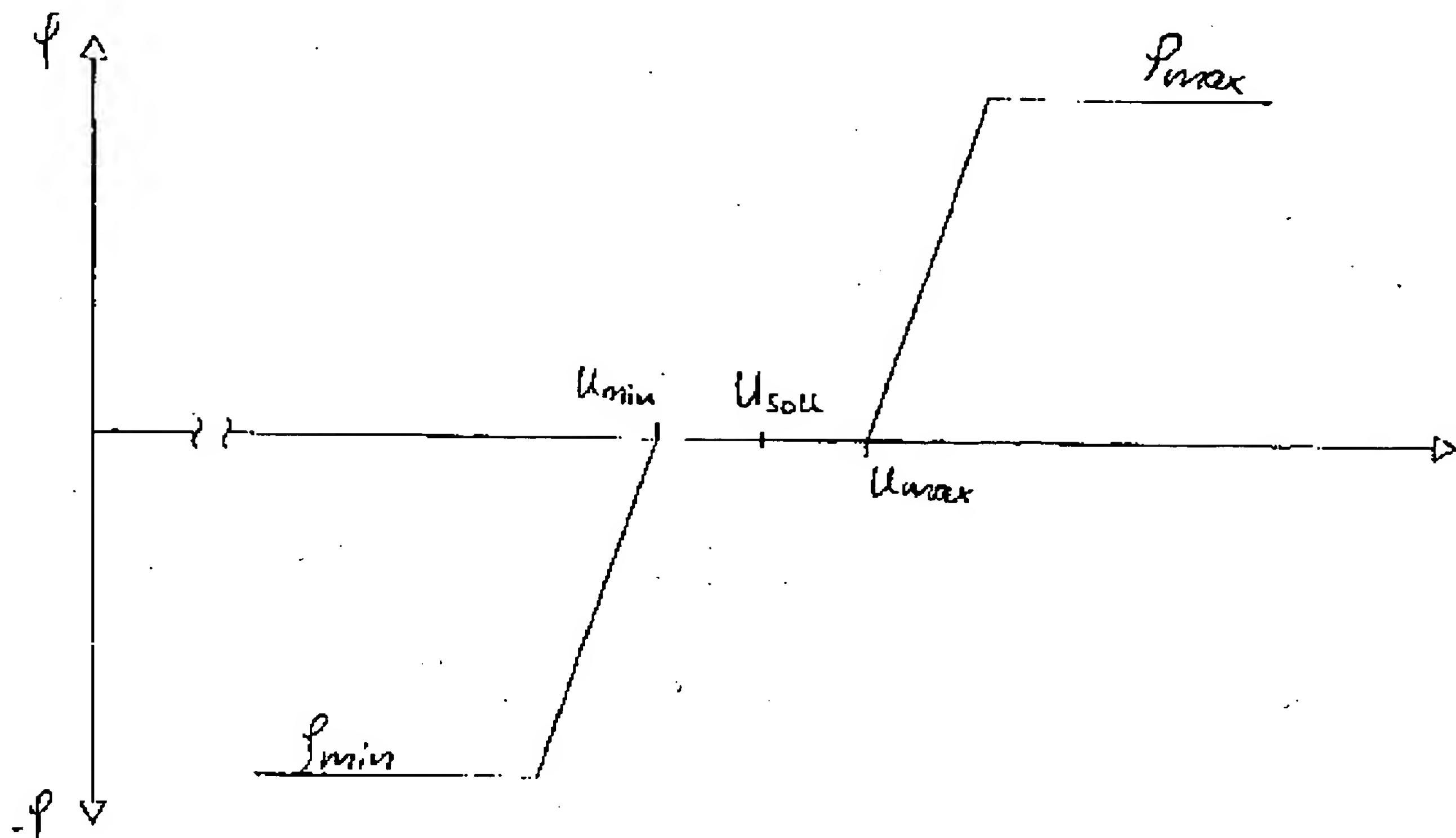


AN: PAT 2002-741248  
TI: Operating wind energy plant involves varying phase angle depending on at least one voltage detected in electrical network so voltage remains essentially unchanged at one or more points  
PN: WO200286315-A1  
PD: 31.10.2002  
AB: NOVELTY - The method involves varying the phase angle depending on at least one voltage detected in the electrical network. The phase angle is varied so that the voltage remains essentially unchanged at one or more points in the electrical network. The voltage is detected at one or more defined points in the network, including a point different from the feed point.  
DETAILED DESCRIPTION - INDEPENDENT CLAIMS are also included for the following: a wind energy system and a wind park.; USE - For operating a wind energy plant with a rotor-driven electric generator for outputting power to an electrical network.  
ADVANTAGE - Enables the voltage fluctuations caused at a defined point in a network to be reduced or at least not to be significantly increased compared to the situation without a wind energy plant(s) when the effective power output is fluctuating.  
DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The drawing shows a graphical representation of the relationship between the electrical network voltage and the phase angle  
PA: (WOBB/) WOBKEN A;  
IN: WOBKEN A; KECK S;  
FA: WO200286315-A1 31.10.2002; IN200301666-P4 25.11.2005;  
DE10136974-A1 21.11.2002; NO200304735-A 23.10.2003;  
**EP1386078-A1** 04.02.2004; AU2002315303-A1 05.11.2002;  
KR2004012762-A 11.02.2004; BR200209079-A 10.08.2004;  
JP2004525598-W 19.08.2004; US2004178639-A1 16.09.2004;  
ZA200308161-A 28.07.2004; CN1524162-A 25.08.2004;  
EP1493921-A1 05.01.2005; **EP1386078-B1** 16.03.2005;  
DE50202485-G 21.04.2005; CA2445230-C 24.05.2005;  
MX2003009788-A1 01.07.2004; ES2238576-T3 01.09.2005;  
US6965174-B2 15.11.2005;  
CO: AE; AG; AL; AM; AT; AU; AZ; BA; BB; BE; BG; BR; BY; BZ; CA;  
CH; CN; CO; CR; CU; CY; CZ; DE; DK; DM; DZ; EA; EC; EE; EP; ES;  
FI; FR; GB; GD; GE; GH; GM; GR; HR; HU; ID; IE; IL; IN; IS; IT;  
JP; KE; KG; KP; KR; KZ; LC; LI; LK; LR; LS; LT; LU; LV; MA; MC;  
MD; MG; MK; MN; MW; MX; MZ; NL; NO; NZ; OA; OM; PH; PL; PT; RO;  
RU; SD; SE; SG; SI; SK; SL; SZ; TJ; TM; TN; TR; TT; TZ; UA; UG;  
US; UZ; VN; YU; ZA; ZM; ZW;  
DN: AE; AG; AL; AM; AT; AU; AZ; BA; BB; BG; BR; BY; BZ; CA; CH;  
CN; CO; CR; CU; CZ; DE; DK; DM; DZ; EC; EE; ES; FI; GB; GD; GE;  
GH; GM; HR; HU; ID; IL; IN; IS; JP; KE; KG; KP; KR; KZ; LC; LK;  
LR; LS; LT; LU; LV; MA; MD; MG; MK; MN; MW; MX; MZ; NO; NZ; OM;  
PH; PL; PT; RO; RU; SD; SE; SG; SI; SK; SL; TJ; TM; TN; TR; TT;  
TZ; UA; UG; US; UZ; VN; YU; ZA; ZM; ZW;  
DR: AT; BE; CH; CY; DE; DK; EA; ES; FI; FR; GB; GH; GM; GR; IE;  
IT; KE; LS; LU; MC; MW; MZ; NL; OA; PT; SD; SE; SL; SZ; TR; TZ;  
UG; ZM; ZW; AL; LI; LT; LV; MK; RO; SI;  
IC: F03D-000/00; F03D-007/00; F03D-007/04; F03D-009/00;  
H02J-003/00; H02J-003/16; H02J-003/18; H02J-003/32;  
H02J-003/38; H02P-009/00; H02P-009/02; H02P-009/04;  
MC: X12-H01A1; X12-H01B; X15-B09;  
DC: Q55; X12; X15;  
FN: 2002741248.gif  
PR: DE1020212 24.04.2001; DE1036974 28.07.2001;  
FP: 31.10.2002

**This Page Blank (uspto)**

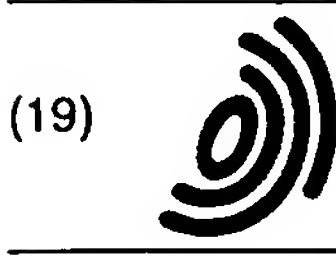
UP: 16.01.2006



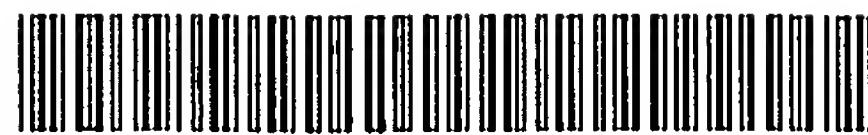
BEST AVAILABLE COPY

BEST PAGEABLE (ASAP)

**This Page Blank (uspto)**



(19) Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) EP 1 386 078 B1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
16.03.2005 Patentblatt 2005/11

(51) Int Cl.7: F03D 9/00, H02J 3/38

(21) Anmeldenummer: 02740489.6

(86) Internationale Anmeldenummer:  
PCT/EP2002/004384

(22) Anmelddatum: 22.04.2002

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
WO 2002/086315 (31.10.2002 Gazette 2002/44)

### (54) WINDENERGIEANLAGE UND VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER WINDENERGIEANLAGE

WIND ENERGY PLANT AND METHOD FOR OPERATING A WIND ENERGY PLANT

INSTALLATION D'ENERGIE EOLIENNE PROCEDE D'EXPLOITATION D'UNE INSTALLATION  
D'ENERGIE EOLIENNE

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE TR

(30) Priorität: 24.04.2001 DE 10120212  
28.07.2001 DE 10136974

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
04.02.2004 Patentblatt 2004/06

(60) Teilanmeldung:  
04104295.3 / 1 493 921

(73) Patentinhaber: Wobben, Aloys  
26607 Aurich (DE)

(72) Erfinder: Wobben, Aloys  
26607 Aurich (DE)

(74) Vertreter: Eisenführ, Speiser & Partner  
Patentanwälte Rechtsanwälte  
Postfach 10 60 78  
28060 Bremen (DE)

(56) Entgegenhaltungen:  
WO-A-01/25630 WO-A-01/73518  
WO-A-93/11604

- R.JONES & G.A. SMITH: "High Quality Mains Power from Variable Speed Turbines" WIND ENGINEERING, Bd. 18, Nr. 1, Seiten 45-50, XP001092707 Brentwood, England

EP 1 386 078 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingereicht, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

**Beschreibung**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Windenergieanlage mit einem von einem Rotor antreibbaren elektrischen Generator zum Abgeben elektrischer Leistung an ein elektrisches Netz und insbesondere an dessen angeschlossene Verbraucher.

[0002] Weiterhin betrifft die vorliegende Erfindung eine Windenergieanlage, insbesondere zur Durchführung eines solchen Verfahrens, mit einem Rotor und mit einem mit dem Rotor gekoppelten elektrischen Generator zum Abgeben elektrischer Leistung an ein elektrisches Netz, sowie einen Windpark mit wenigstens zwei Windenergieanlagen.

[0003] Bei den bekannten Windenergieanlagen zum Erzeugen elektrischer Energie aus Windenergie wird der Generator mit einem elektrischen Verbraucher, häufig einem elektrischen Netz, im Parallelbetrieb betrieben. Während des Betriebs der Windenergieanlage kann die von dem Generator bereitgestellte elektrische Wirkleistung in Abhängigkeit von der aktuellen Windgeschwindigkeit variieren. Dies hat zur Folge, dass auch die Netzzspannung, beispielsweise am Einspeisepunkt, in Abhängigkeit von der aktuellen Windgeschwindigkeit veränderlich sein kann.

[0004] Im Fall der Einspeisung der erzeugten elektrischen Leistung in ein elektrisches Netz, beispielsweise ein öffentliches Stromnetz, kann es dadurch jedoch zu Schwankungen der Netzzspannung kommen. Solche Schwankungen sind jedoch im Interesse eines sicheren Betriebs angeschlossener Verbraucher nur innerhalb sehr enger Grenzen zulässig.

[0005] Größere Abweichungen von dem Sollwert der Netzzspannung im Versorgungsnetz, insbesondere der Mittelspannungsebene, können zum Beispiel durch Be-tätigen von Schalteinrichtungen wie Stufentransformatoren ausgeglichen werden, indem diese betätigt werden, wenn vorbestimmte Grenzwerte über- bzw. unterschritten werden. Auf diese Weise wird die Netzzspannung innerhalb vorgegebener Toleranzgrenzen im Wesentlichen konstant gehalten.

[0006] WO 93 11604A offenbart die Oberbegriffe der unabhängigen Ansprüche.

[0007] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren zum Betreiben einer Windenergieanlage sowie eine Windenergieanlage bzw. einen Windpark anzugeben, die auch bei schwankender Wirkleistungs-abgabe in der Lage sind, die unerwünschten Schwan-kungen der Spannung an einem vorgegebenen Punkt im Netz im Vergleich zur Situation ohne Windenergie-anlage(n) zu reduzieren oder wenigstens nicht signifi-kant zu erhöhen. Die Erfindung löst die Aufgabe mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche.

[0008] Bei einem Windpark der eingangs genannten Art wird die Aufgabe gelöst durch wenigstens je eine Vorrichtung gemäß dem unabhängigen Vorrichtungs anspruch und je eine Spannungserfassungseinrich-

tung, für jeden separat regelbaren Teil des Windparks.

[0009] Die Erfindung vermeidet unerwünschte Schwankungen der beim Verbraucher anliegenden Spannung, insbesondere der in einem Netz bestehenden elektrischen Spannung, indem der Phasenwinkel der abgegebenen Leistung in Abhängigkeit von der Spannung des Verbrauchers bzw. des Netzes verändert wird. Dadurch werden unerwünschte Spannungs-schwankungen ausgeglichen, die sich aus Änderungen der von der/den Windenergieanlagen abgegebenen Wirkleistung und/oder der dem Netz von den Verbrauchern entnommenen Leistung ergeben.

[0010] Besonders bevorzugt wird der Phasenwinkel derart verändert, dass die Spannung an wenigstens ei-nem vorgegebenen Punkt im Netz im Wesentlichen kon-stant bleibt. Dabei muss zur Gewinnung der erforderli-chen Regelgröße die Spannung an wenigstens einem Punkt im Netz erfasst werden.

[0011] Insbesondere kann dieser Punkt ein anderer als der Einspeisepunkt sein. Durch diese Erfassung der Spannung und durch eine geeignete Änderung des Phasenwinkels der von der/den Windenergieanlagen abgegebenen elektrischen Leistung kann eine reak-tionsschnelle und wirksame Regelung geschaffen wer-den.

[0012] In einer insbesondere bevorzugten Ausführungsform werden die für den Phasenwinkel einzustel-lenden Werte aus vorgegebenen Kennwerten abgeleitet. Diese Kennwerte können bevorzugt in Form einer Tabelle bereitgestellt werden, in welcher eine vorab be-stimmte Kennlinienschar in Form diskreter Werte abge-bildet ist, die eine Ableitung des einzustellenden Pha-senwinkels erlaubt.

[0013] In einer bevorzugten Weiterbildung der Erfin-dung kann die Regelung direkt oder indirekt bewirken, dass, wenn die Spannungsschwankungen die vorgege-benen Grenzwerte überschritten haben, durch das Be-tätigen einer Schalteinrichtung im Netz, z.B. eines Stuf-entransformators, die Spannung wieder in den Tole-ranzbereich gebracht wird. Gleichzeitig bzw. dazu wird der Phasenwinkel für einen vorbestimmten Zeitab-schnitt auf einen konstanten Wert - bevorzugt einen Mit-telwert, z.B. Null, eingestellt, um in der Folge auftreten-de Spannungsschwankungen wiederum durch eine ge-eignete Veränderung des Phasenwinkels ausgleichen zu können.

[0014] In einer insbesondere bevorzugten Weiterbil-dung der Erfindung können in elektrisch getrennten Teil-bereichen des Netzes entsprechende Spannungserfas-sungen und Einstellungen des Phasenwinkels ebenfalls getrennt vorgenommen werden, um jeden Teilbereich derart zu regeln, dass die Spannung in jedem der Teil-bereiche im Wesentlichen konstant bleibt.

[0015] Die erfindungsgemäße Windenergieanlage wird in vorteilhafter Weise weitergebildet durch eine Re-gelungseinrichtung, die einen Mikroprozessor aufweist, da auf diese Weise eine digitale Regelung verwirklicht werden kann.

[0016] Der eingangs erwähnte Windpark wird bevorzugt weitergebildet, indem je eine Vorrichtung, die zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens in der Lage ist, und je eine Spannungs-Erfassungseinrichtung für jeden separat regelbaren Teil des Windparks vorhanden ist, so dass auch elektrisch getrennte Teilbereiche des Netzes separat derart geregelt werden können, dass die Spannung in jedem Teilbereich des Netzes im Wesentlichen konstant bleibt.

[0017] Im Folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zum Betreiben einer Windenergieanlage unter Bezugnahme auf die Zeichnungen veranschaulicht. Dabei zeigen:

Figur 1 eine in ein Netz einspeisende Windenergieanlage in einer vereinfachten Darstellung;

Figur 2 eine erfindungsgemäße Regelungseinrichtung zum Betreiben einer Windenergieanlage;

Figur 3 eine Darstellung, welche den Zusammenhang zwischen Netzspannung und Phasenwinkel veranschaulicht;

Figur 4 wesentliche Bestandteile der in Figur 2 gezeigten Regelungseinrichtung; und

Figur 5 eine vereinfachte Darstellung einer je nach Netzsituation gemeinsamen oder getrennten Regelung mehrerer Windenergieanlagen.

[0018] Eine in Figur 1 schematisch dargestellte Windenergieanlage 2 mit einem Rotor 4 ist mit einem elektrischen Netz 6, das beispielsweise ein öffentliches Netz sein kann, verbunden. An das Netz sind mehrere elektrische Verbraucher 8 angeschlossen. Der in Figur 1 nicht dargestellte elektrische Generator der Windenergieanlage 2 ist mit einer elektrischen Steuerungs- und Regelungsvorrichtung 10 gekoppelt, die den in dem Generator erzeugten Wechselstrom zunächst gleichrichtet und anschließend in einen Wechselstrom mit einer Frequenz umwandelt, die der Netzfrequenz entspricht. Die Steuerungs- und Regelungsvorrichtung 10 weist eine erfindungsgemäße Regelungseinrichtung auf.

[0019] An einem beliebigen Punkt 22 im Netz 6 kann eine Spannungserfassungseinrichtung 22 vorgesehen sein, die eine entsprechende Regelgröße zu der Regelungsvorrichtung 10 zurückgibt.

[0020] Figur 2 veranschaulicht die erfindungsgemäße Regelungseinrichtung. Der schematisch dargestellte Rotor 4 ist mit einem Generator 12 gekoppelt; der eine elektrische Leistung bereitstellt, die von der Windgeschwindigkeit abhängen kann. Die in dem Generator 12 erzeugte Wechselspannung kann zunächst gleichgerichtet und anschließend in eine Wechselspannung umgewandelt werden, die eine der Netzfrequenz entsprechende Frequenz aufweist.

[0021] Mit Hilfe eines Spannungsaufnehmers (nicht dargestellt) wird die Netzspannung an einem Ort 22 in dem Netz 6 gemessen. In Abhängigkeit von der ermittelten Netzspannung wird - ggf. mit Hilfe eines in Figur

5 4 dargestellten Microprozessors - ein optimaler Phasenwinkel  $\phi$  berechnet. Mit Hilfe der Regelungseinrichtung wird dann die Netzspannung U auf den gewünschten Wert  $U_{soll}$  eingeregelt. Durch die Veränderung des Phasenwinkels wird die von dem Generator 12 an das Netz

10 6 abgegebene elektrische Leistung geregelt.

[0022] Die in Figur 3 gezeigte Darstellung veranschaulicht den Zusammenhang zwischen der Spannung im Netz und dem Phasenwinkel. Weicht die Spannung von ihrem Sollwert  $U_{soll}$  ab, der zwischen den

15 Spannungswert  $U_{min}$  und  $U_{max}$  liegt, wird entsprechend der Kennlinie in dem Diagramm der Phasenwinkel  $\phi$  derart verändert, dass abhängig von dem Vorzeichen der Abweichung entweder induktive oder kapazitive Blindleistung eingespeist wird, um auf diese Weise die Spannung an dem Spannungserfassungspunkt (22 in Figur 1) zu stabilisieren.

[0023] Figur 4 zeigt wesentliche Bestandteile der Steuerungs- und Regelungsvorrichtung 10 aus Figur 1. Die Steuerungs- und Regelungsvorrichtung 10 weist ei-

25 nen Gleichrichter 16 auf, in dem der in dem Generator erzeugte Wechselstrom gleichgerichtet wird. Ein mit dem Gleichrichter 16 verbundener Frequenzumrichter 18 wandelt den zunächst gleichgerichteten Gleichstrom in einen Wechselstrom um, der als dreiphasiger Wechselstrom über die Leitungen L1, L2 und L3 in das Netz 6 eingespeist wird.

[0024] Der Frequenzumrichter 18 wird mit Hilfe eines Mikrocomputers 20, der Teil der gesamten Regelungseinrichtung ist, gesteuert. Hierzu ist der Mikroprozessor

35 20 mit dem Frequenzumrichter 18 gekoppelt. Als Eingangsgrößen des Mikroprozessors 20 sind die aktuelle Netzspannung U, die elektrische Leistung P des Generators, der Sollwert der Netzspannung  $U_{soll}$  sowie der Leistungsgradient  $dP/dt$  vorgesehen. In dem Mikropro-

40 zessor 20 wird die erfindungsgemäße Veränderung der einzuspeisenden Leistung verwirklicht.

[0025] In Figur 5 sind als Beispiel für einen Windpark zwei Windenergieanlagen 2 dargestellt. Jeder dieser Windenergieanlagen 2, die symbolisch natürlich auch jeweils für eine Mehrzahl von Windenergieanlagen stehen können, ist eine Regelungsvorrichtung 10 zugeordnet. Die Regelungsvorrichtung 10 erfasst an vorgegebenen Punkten 22, 27 in dem Netz 6, 7 die Spannung und überträgt diese über Leitungen 25, 26 zu der jeweils zugeordneten Regelungsvorrichtung 10.

[0026] Die Teilbereiche 6, 7 des Netzes können über eine Schalteinrichtung 23 miteinander verbunden oder voneinander getrennt werden. Parallel zu dieser Schalteinrichtung 23 ist eine Schalteinrichtung 24 vorgesehen, welche es gestattet, die beiden Regelungsvorrichtungen 10 entsprechend dem Schaltzustand der Schalteinrichtung 23 miteinander zu verbinden oder voneinander zu trennen.

[0027] Sind also die beiden Teilbereiche 6, 7 des Netzes miteinander verbunden, werden auch die beiden Regelungsvorrichtungen 10 miteinander verbunden, so dass das gesamte Netz als eine Einheit betrachtet und durch den gesamten Windpark als eine Einheit gespeist wird, wobei der Windpark wiederum in Abhängigkeit von der Spannung am Erfassungspunkt 22, 27 einheitlich geregelt wird.

[0028] Werden die beiden Teilbereiche 6, 7 durch die Schalteinrichtung 23 getrennt, werden auch die Regelungsvorrichtungen 10 derart voneinander getrennt, dass ein Teil des Windparks von einem Erfassungspunkt 22 über eine Leitung 25 von der Regelungseinrichtung 10 überwacht wird und entsprechend der zugeordnete Teil des Windparks geregelt werden kann, während der andere Teilbereich des Netzes 7 von einem Erfassungspunkt 27 über eine Leitung 26 durch die Regelung 10 überwacht wird, welche den anderen Teil des Windparks entsprechend regelt, um die Spannung in dem Teilbereich des Netzes 7 zu stabilisieren.

[0029] Natürlich muss diese Aufteilung nicht auf zwei Teilbereiche beschränkt sein. Diese Aufteilung kann bis zu einer Zuordnung einer einzelnen Anlage zu einem Teilbereich des Netzes aufgelöst werden.

[0030] Für den Fall, dass die vorbeschriebene Regelung insbesondere bei der Messwerterfassung eine andere Toleranz aufweist als diejenige, der im Netz bereits vorhandenen Schalteinrichtung (Stufentransformatoren) kann es unter Umständen dazu kommen, dass sich beide Einrichtungen, die vorbeschriebene Regelung einerseits und die Schalteinrichtung andererseits derart beeinflussen, dass eine Art "Ping-Pong"-Effekt entsteht, wobei z.B. der Stufentransformator schaltet und damit die Spannung im Netz derart verändert, dass die beschriebene erfindungsgemäße Regelung eingreift. Durch diese eingreifende Regelung wird wiederum die Spannung im Netz derart verändert, dass nun wiederum der Stufentransformator schaltet und so fort.

[0031] Um diesem unerwünschten "Ping-Pong"-Effekt entgegenzuwirken, kann in einer weiteren Ausführungsform der Erfindung vorgesehen werden, als Eingangssignal für die erfindungsgemäße Regelungseinrichtung das Messergebnis der Schalteinrichtung (z.B. des Stufentransformators) vorzusehen. Dies birgt unter Umständen zwar den Nachteil einer geringeren Genauigkeit des Messergebnisses, beseitigt aber das Risiko einer fortwährenden gegenseitigen Beeinflussung der Komponenten und wirkt auch somit noch im Sinne der gestellten Aufgabe.

[0032] Der in der vorliegenden Anmeldung beschriebene Phasenwinkel ist der Winkel zwischen dem Strom und der Spannung der eingespeisten elektrischen Leistung des Generators der Windenergieanlage. Ist der Phasenwinkel  $0^\circ$ , wird nur Wirkleistung eingespeist. Ist der Phasenwinkel  $\neq 0^\circ$ , wird neben der Wirkleistung auch ein Blindleistungsanteil mit eingespeist, wobei mit einer Phasenwinkeländerung nicht notwendigerweise auch eine Erhöhung oder Verringerung der Scheinlei-

stung einhergehen muss, sondern auch die Scheinleistung insgesamt konstant bleiben kann, sich dann aber die betragsmäßigen Anteile zwischen der Blindleistung und der Wirkleistung entsprechend der Phasenwinkel-einstellung verändern.

[0033] Wie vorbeschrieben, ist eine Aufgabe der Erfindung, unerwünschte Spannungsschwankungen an einem vorgegebenen Punkt im Netz zu reduzieren oder bei Anschaltung einer Windenergieanlage, wenigstens nicht signifikant zu erhöhen. Dazu ist es vorgesehen, dass der Phasenwinkel der von der Windenergieanlage (oder dem Windpark) einzuspeisenden elektrischen Leistung in geeigneter Weise variiert werden kann, um Spannungsschwankungen zu kompensieren.

[0034] Eine regelmäßig bei Windenergieanlagen auch im Netz bereits vorhandene Einrichtung, nämlich ein sog. Stufentransformator (nicht dargestellt), dient grundsätzlich der gleichen Aufgabe. Durch die Fähigkeit des Stufentransformators, durch Schaltvorgänge das Übertragungsverhältnis zu ändern, kann ebenfalls die Spannung im Netz - oder wenigstens an der Sekundärseite des Transformators - beeinflusst werden. Dies ist aber nur in Stufen möglich, die den Schaltstufen des Stufentransformators entsprechen.

[0035] Dazu verfügt ein solcher Stufentransformator regelmäßig über die Möglichkeit, die Netzspannung zu erfassen. Sobald nun diese Spannung vorgegebene Grenzwerte überschreitet bzw. unterschreitet, wird ein Schaltvorgang des Stufentransformators ausgelöst und somit die Netzspannung wieder in einen vorgegebenen Toleranzbereich zurückgeführt.

[0036] Auch die Windenergieanlage bzw. deren Wechselrichter überwacht die Spannung im Netz und versucht durch geeignete Maßnahmen, diese Spannung innerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereiches zu halten. Da diese Toleranzbereiche sicherlich nicht exakt deckungsgleich sind, kann eine Situation entstehen, bei der die Windenergieanlage und der Stufentransformator gegeneinander arbeiten, indem der Stufentransformator alternierend aufwärts und abwärts stuft und die Windenergieanlage entgegengesetzt alternierend bemüht ist, die Spannung zu verringern und anzuheben.

[0037] Es ist leicht nachvollziehbar, dass damit eine nicht hinnehmbare Verschlechterung der Spannungsstabilität im Netz einhergehen kann.

[0038] Um vorbeschriebenen Effekt zu vermeiden, wird daher einerseits gelehrt, dass die Spannung - welche als Messgröße zu der Windenergieanlage übermittelt wird - an einem anderen Punkt als dem Einspeisepunkt erfasst wird und/oder andererseits, dass die Regelung direkt oder indirekt das Betätigen einer Schalteinrichtung im Netz bewirken kann. Dieser andere Punkt kann natürlich auch der Stufentransformator sein, so dass der Wechselrichter mit den gleichen Spannungswerten wie der Stufentransformator gesteuert wird. Somit können einerseits das Gegeneinanderarbeiten des Stufentransformators und der Wechselrichtersteuerung durch abweichende Toleranzen vermieden

werden. Andererseits kann aber die Windenergieanlage durch entsprechendes Einspeisen von Blindleistung gezielt einen Schaltvorgang bei dem Stufentransformator auslösen (indirektes Betätigen) oder über eine Steuerleitung einen solchen Schaltvorgang (direkt) bewirken. [0038] Es mag aus Sicht des Netzbetreibers auch erwünscht sein, dass die Windenergieanlage Blindleistung erzeugt, die auf der anderen Seite des Stufentransformators übertragen werden soll. Da aber die Einspeisung von Blindleistung stets zu einer Veränderung der Spannung im Netz führt, würde auf diese Weise eine indirekte Betätigung des Stufentransformators ausgelöst und genau das ist in dieser Situation nicht erwünscht und somit kontraproduktiv.

[0039] Die Lösung dieses Problems besteht nun darin, genau diesen Schaltvorgang des Stufentransformators, nämlich das Aufwärts- oder Abwärts-Stufen, zu unterdrücken. Mit dieser Unterdrückung der Stufung ist die "Nichtschaltung" des Schalters gemeint, um auf diese Weise die gewünschte Blindleistung zur anderen Seite des Stufentransformators übertragen zu können.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Windenergieanlage mit einem von einem Rotor antreibbaren elektrischen Generator zum Abgeben elektrischer Leistung an ein elektrisches Netz, insbesondere dessen angeschlossene Verbraucher, wobei Blindleistung in das elektrische Netz eingespeist wird und die Blindleistung durch einen Phasenwinkel  $\phi$  vorgegeben wird, welcher einen Winkel zwischen dem Strom und der Spannung der eingespeisten elektrischen Leistung beschreibt und der Phasenwinkel mithin den Blindleistungsanteil der von der Windenergieanlage abgegebenen Leistung bestimmt, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Phasenwinkel  $\phi$  in Abhängigkeit vom Betrag von wenigstens einer im Netz erfassten Spannung verändert wird, dass der Phasenwinkel unverändert ist, solange die Netzspannung zwischen einem vorbestimmten unteren Sollwert ( $U_{min}$ ) und einem vorbestimmten oberen Sollwert ( $U_{max}$ ) liegt, wobei der untere Spannungswert geringer ist als ein Sollspannungswert und der vorbestimmte obere Spannungswert größer ist als ein vorbestimmter Sollspannungswert und dass bei Überschreiten des vorbestimmten oberen Spannungswertes ( $U_{max}$ ) oder bei Unterschreiten des vorbestimmten unteren Spannungswertes ( $U_{min}$ ) der Betrag des Phasenwinkels mit weiter ansteigender oder sinkender Spannung ansteigt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Phasenwinkel  $\phi$  derart verändert wird, dass die Spannung an wenigstens einem vorgegebenen Punkt im Netz im

Wesentlichen unverändert bleibt.

3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Spannung an wenigstens einem vorgegebenen Punkt (22, 27) im Netz erfasst wird.
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Spannung an einem anderen Punkt (22, 27) als dem Einspeisepunkt erfasst wird.
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die für den Phasenwinkel  $\phi$  einzustellenden Werte aus vorgegebenen Kennwerten abgeleitet werden.
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regelung direkt oder indirekt das Bestätigen einer Schalteinrichtung im Netz bewirken kann.
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** für Teilbereiche des Netzes (6, 7) entsprechende Spannungserfassungen und Regelungen mittels des Phasenwinkels  $\phi$  getrennt vorgenommen werden.
8. Windenergieanlage mit einem mit einem Rotor antreibbaren elektrischen Generator zum Abgeben elektrischer Leistung an ein elektrisches Netz, insbesondere dessen angeschlossene Verbraucher, wobei mittels eines Frequenzumrichters (18) Blindleistung in das elektrische Netz einspeisbar ist und die Blindleistung durch einen Phasenwinkel  $\phi$  vorgegeben ist, der den Blindleistungsanteil der von der Windenergieanlage abgegebenen Leistung bestimmt, **dadurch gekennzeichnet dass** der Phasenwinkel  $\phi$  in Abhängigkeit vom Betrag von wenigstens einer im Netz erfassten Spannung veränderbar ist und dass der Phasenwinkel unverändert bleibt, solange die Netzspannung zwischen einem vorbestimmten unteren Spannungswert ( $U_{min}$ ) und einem vorbestimmten oberen Spannungswert ( $U_{max}$ ) liegt, wobei der untere Spannungswert geringer ist als der Netzspannungssollwert und der vorbestimmte obere Spannungswert größer ist als der vorbestimmte Netzspannungssollwert, und dass bei Überschreiten des vorbestimmten oberen Spannungswertes ( $U_{max}$ ) oder bei Unterschreiten des vorbestimmten unteren Spannungswertes

$(U_{min})$  der Betrag des Phasenwinkels mit weiter ansteigender oder sinkender Spannung ansteigt.

9. Windpark mit wenigstens zwei Windenergieanlagen gemäß Anspruch 8, **gekennzeichnet durch** eine Vorrichtung (10) zur Ausführung des Verfahrens nach einem der vorstehenden Ansprüche und je eine Spannungserfassungseinrichtung (22, 27) für jeden separat regelbaren Teil des Windparks.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1-7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Phasenwinkel in Abhängigkeit von wenigstens einer im Netz erfassten Spannung kapazitiv oder induktiv verändert wird, bis die Spannung einen vorgegebenen Sollwert annimmt.

#### Claims

1. Method for operation of a wind energy installation having an electrical generator, which can be driven by a rotor, in order to emit electrical power to an electrical network, in particular to its connected loads, with a wattless component being fed into the electrical network and the wattless component being predetermined by a phase angle  $\phi$  which describes an angle between the current and the voltage of the electrical volt amperes that are fed in, and the phase angle also determining the wattless component of the volt amperes which are emitted from the wind energy installation, **characterized in that** the phase angle  $\phi$  is varied as a function of the magnitude of at least one voltage which is detected in the network, such that the phase angle is unchanged provided that the network voltage is between a predetermined lower threshold value ( $U_{min}$ ) and a predetermined upper threshold value ( $U_{max}$ ), with the lower voltage value being less than a nominal voltage value, and the predetermined upper voltage value being greater than a predetermined nominal voltage value, and **in that**, if the predetermined upper voltage value ( $U_{max}$ ) is exceeded or the predetermined lower voltage value ( $U_{min}$ ) is undershot, the magnitude of the phase angle rises as the voltage rises or falls further.
2. Method according to Claim 1, **characterized in that** the phase angle  $\phi$  is varied such that the voltage at at least one predetermined point in the network remains essentially unchanged.
3. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the voltage is detected at at least one predetermined point (22, 27) in the net-

work.

4. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the voltage is detected at a point (22, 27) other than the feed point.
5. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the values to be set for the phase angle  $\phi$  are derived from predetermined characteristic values.
6. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the control system can directly or indirectly control the operation of a switching device in the network.
7. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** appropriate voltage detection operations and control processes are carried out separately by means of the phase angle  $\phi$  for subareas of the network (6, 7).
8. Wind energy installation having an electrical generator, which can be driven by a rotor, in order to emit electrical power to an electrical network, in particular to its connected loads, wherein a wattless component can be fed into the electrical network by means of a frequency converter (18), and the wattless component is predetermined by a phase angle  $\phi$  which governs the wattless component of the volt amperes emitted from the wind energy installation, **characterized in that** the phase angle  $\phi$  is varied as a function of the magnitude of at least one voltage which is detected in the network, such that the phase angle is unchanged provided that the network voltage is between a predetermined lower threshold value ( $U_{min}$ ) and a predetermined upper threshold value ( $U_{max}$ ), with the lower voltage value being less than the nominal network voltage value, and the predetermined upper voltage value being greater than the predetermined nominal network voltage value, and **in that**, if the predetermined upper voltage value ( $U_{max}$ ) is exceeded or the predetermined lower voltage value ( $U_{min}$ ) is undershot, the magnitude of the phase angle rises as the voltage rises or falls further.
9. Wind park having at least two wind energy installations according to Claim 8, **characterized by** an apparatus (10) for carrying out the method according to one of the preceding claims, and in each case one voltage detection device (22, 27) for each separately controllable part of the wind park.
10. Method according to one of the preceding Claims 1 - 7, **characterized in that** the phase angle is varied. ca-

pacitively or inductively as a function of at least one voltage which is detected in the network, until the voltage assumes a predetermined nominal value.

5

### Revendications

1. Procédé d'exploitation d'une installation d'énergie éolienne comportant un générateur électrique actionnable par un rotor pour fournir une puissance électrique à un réseau électrique, en particulier à son consommateur raccordé, une puissance réactive étant alimentée dans le réseau électrique et la puissance réactive étant spécifiée par un angle de phase  $\phi$ , lequel décrit un angle entre le courant et la tension de la puissance électrique alimentée et l'angle de phase déterminant par conséquent la part de puissance réactive de la puissance dégagée par l'installation d'énergie éolienne,

**caractérisé en ce que** l'angle de phase  $\phi$  est modifié en fonction de la valeur d'au moins une tension enregistrée dans le réseau, **en ce que** l'angle de phase est inchangé aussi longtemps que la tension du réseau est comprise entre une valeur prescrite inférieure prédéfinie ( $U_{min}$ ) et une valeur prescrite supérieure prédéfinie ( $U_{max}$ ), la valeur de tension inférieure étant inférieure à une valeur de tension prescrite et la valeur de tension supérieure prédéfinie étant supérieure à une valeur de tension prescrite prédéfinie et **en ce qu'en cas de dépassement au-dessus de la valeur de tension supérieure prédéfinie ( $U_{max}$ ) ou en cas de dépassement en dessous de la valeur de tension inférieure prédéfinie ( $U_{min}$ ), la valeur de l'angle de phase augmente avec une tension continuant d'augmenter ou de diminuer.**

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'angle de phase  $\phi$  est modifié de telle manière que la tension reste pour sensiblement inchangée au niveau d'au moins un point prédéfini dans le réseau.
3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la tension est enregistrée au niveau d'au moins un point (22, 27) prédéfini dans le réseau.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la tension est enregistrée au niveau d'un autre point (22, 27) que le point d'alimentation.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les valeurs à régler pour l'angle de phase  $\phi$  sont déduites de valeurs caractéristiques prédéfinies.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le réglage peut provoquer directement ou indirectement l'actionnement d'un dispositif de commutation dans le réseau.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** des enregistrements de tension et des réglages correspondant à des zones partielles du réseau (6, 7) sont effectués séparément au moyen de l'angle de phase  $\phi$ .

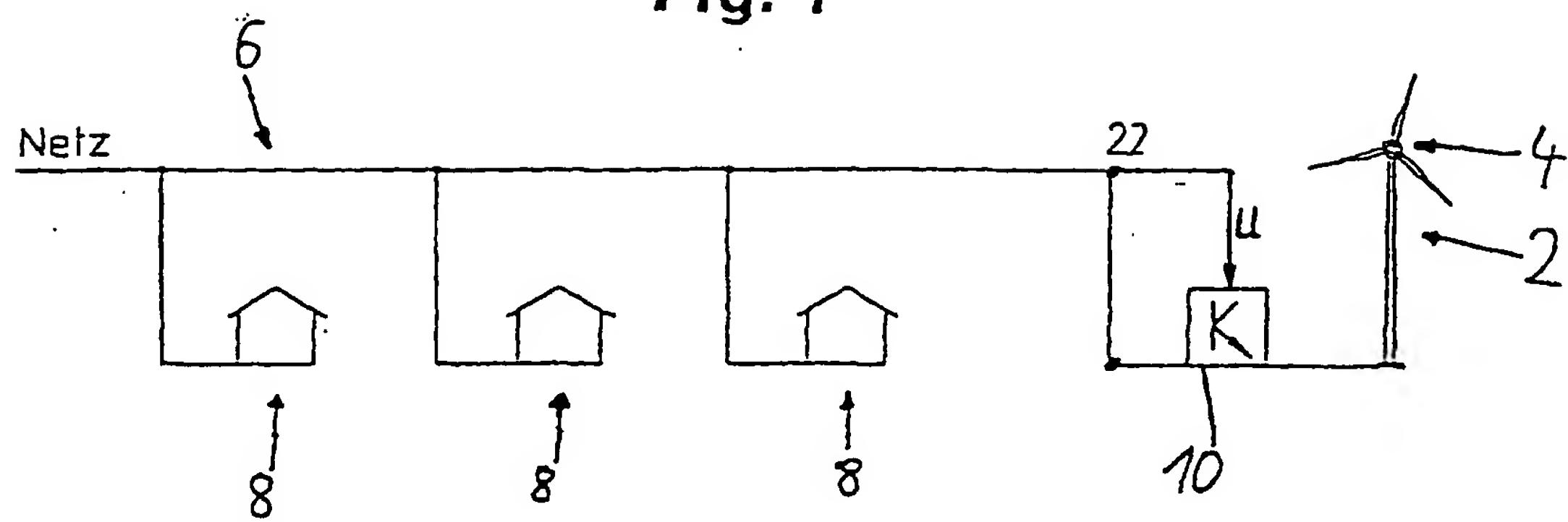
8. Installation d'énergie éolienne comportant une génératrice électrique actionnable par un rotor pour fournir une puissance électrique à un réseau électrique, en particulier à son consommateur raccordé, une puissance réactive pouvant être alimentée dans le réseau électrique au moyen d'un convertisseur de fréquence (18) et la puissance réactive étant spécifiée par un angle de phase  $\phi$  qui détermine la part de puissance réactive de la puissance dégagée par l'installation d'énergie éolienne, **caractérisée en ce que** l'angle de phase  $\phi$  peut être modifié en fonction de la valeur d'au moins une tension enregistrée dans le réseau, **en ce que** l'angle de phase reste inchangé aussi longtemps que la tension du réseau est comprise entre une valeur de tension inférieure prédéfinie ( $U_{min}$ ) et une valeur de tension supérieure prédéfinie ( $U_{max}$ ), la valeur de tension inférieure étant inférieure à la valeur de tension prescrite du réseau et la valeur de tension supérieure prédéfinie étant supérieure à la valeur de tension prescrite du réseau prédéfinie et **en ce qu'en cas de dépassement au-dessus de la valeur de tension supérieure prédéfinie ( $U_{max}$ ) ou en cas de dépassement en dessous de la valeur de tension inférieure prédéfinie ( $U_{min}$ ), la valeur de l'angle de phase augmente avec une tension continuant d'augmenter ou de diminuer.**

9. Parc éolien comportant au moins deux installations d'énergie éolienne selon la revendication 8, **caractérisé par un dispositif (10) destiné à la réalisation du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes et par un dispositif d'enregistrement de la tension (22, 27) à chaque fois pour chaque partie réglable séparément du parc éolien.**

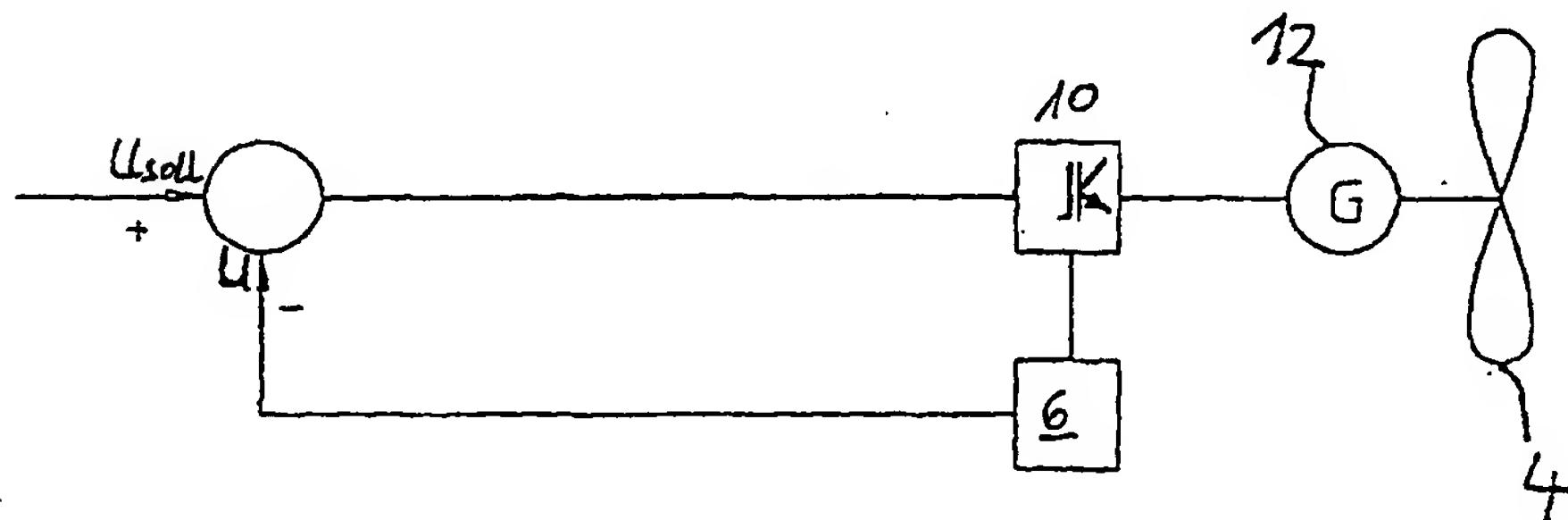
10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes 1 à 7, **caractérisé en ce que** l'angle de phase est modifié de manière capacitive ou inductive en fonction d'au moins une tension enregistrée dans le réseau jusqu'à ce que la tension atteigne une valeur prescrite prédéfinie.

55

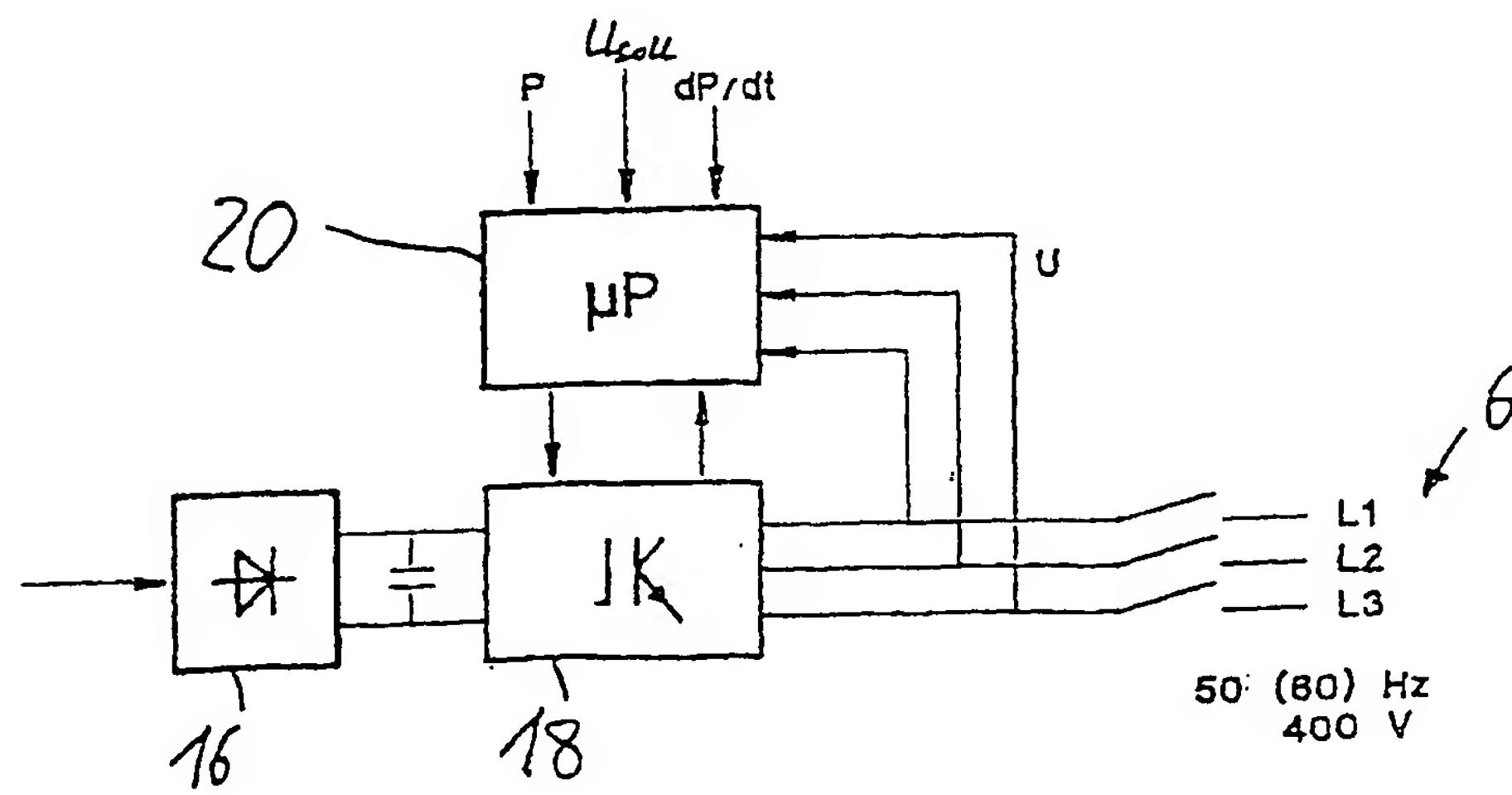
**Fig. 1**



**Fig. 2**



**Fig. 4**



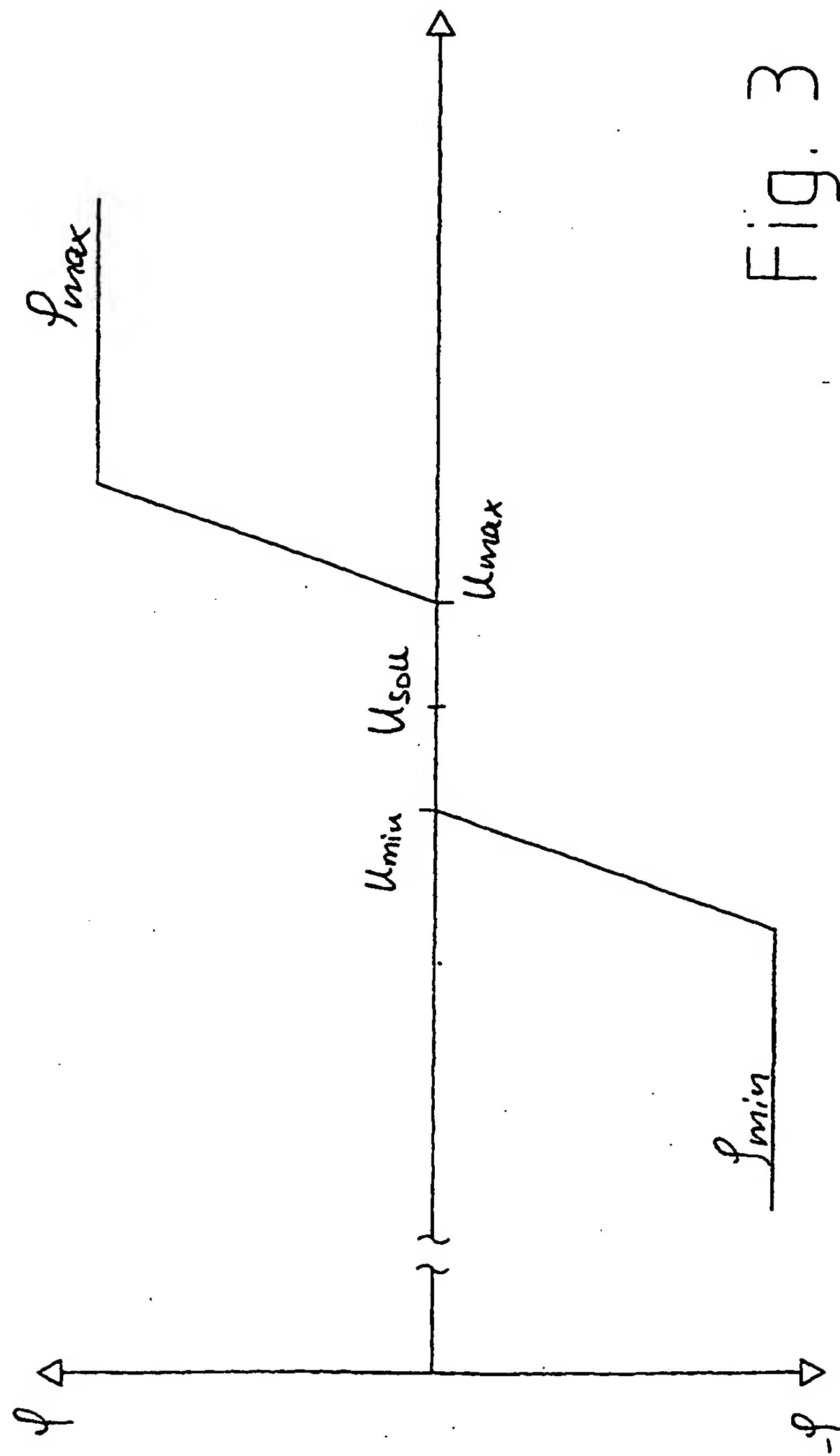


Fig. 3

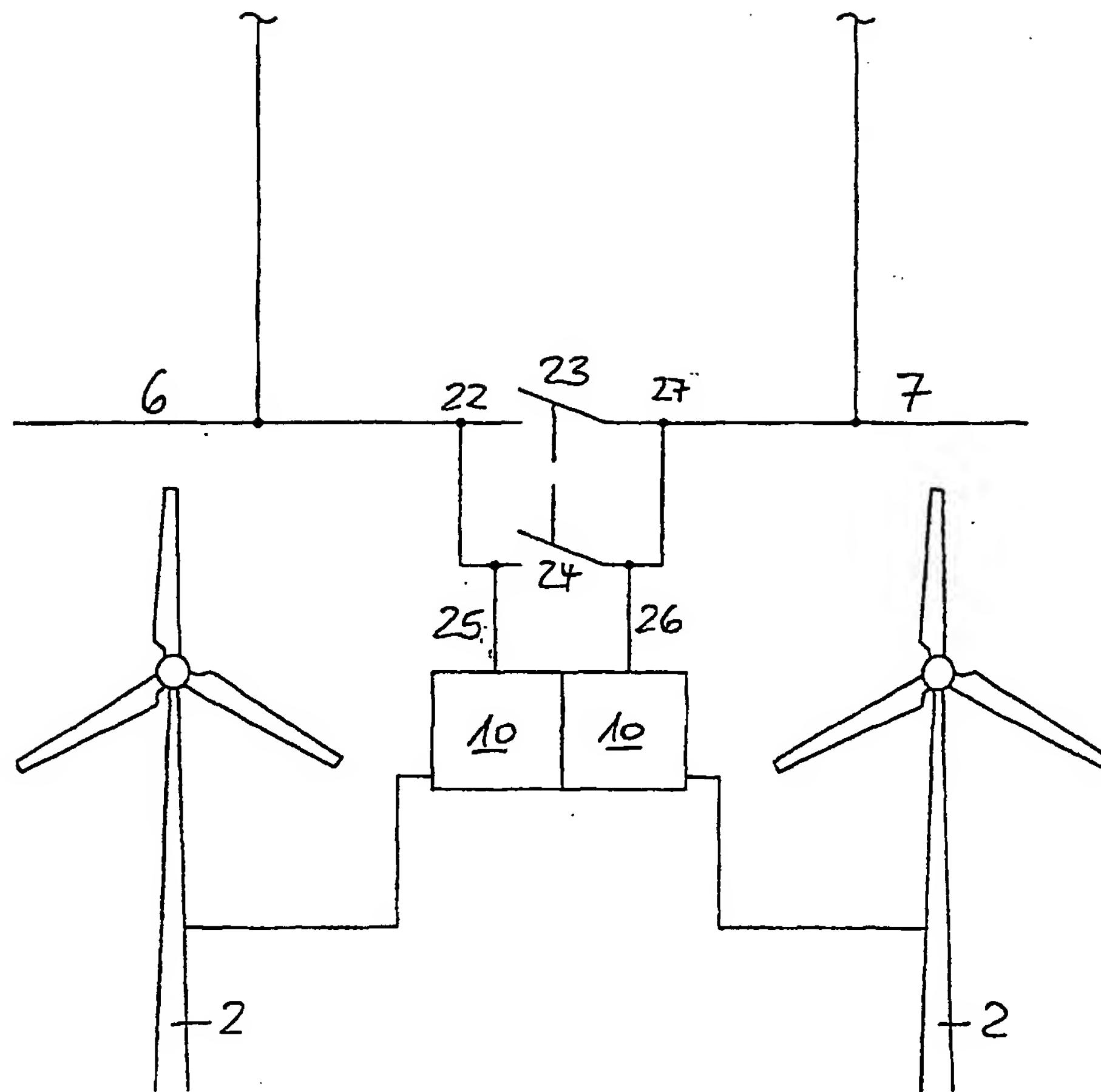


Fig. 5